

**APLICACIÓN DE OPCIONES REALES A INVERSIONES EN PROYECTOS DE
REFORESTACIÓN**

SIMÓN PARRA GUTIÉRREZ

NICOLÁS GUTIÉRREZ OLIVARES

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

MEDELLÍN

2019

APLICACIÓN DE OPCIONES REALES A INVERSIONES EN PROYECTOS DE REFORESTACIÓN

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
magíster en Administración Financiera**

SIMÓN PARRA GUTIÉRREZ¹

NICOLÁS GUTIÉRREZ OLIVARES²

Asesor: Julián Pareja Vasseur, DBA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA

MEDELLÍN

2019

¹ simonparra@textilespuntoflect.com

² nicolas2g@hotmail.com

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Resumen

Este estudio evalúa las diferentes metodologías de valoración de proyectos de reforestación enfocados hacia la producción de madera para uso industrial. Se analizan las diferencias entre el método tradicional de flujo de caja descontado y el método de opciones reales. En seguida se investigan las diferentes maneras de valorar opciones reales y su aplicación a la valoración final de un proyecto.

Se aplican los diferentes métodos en un ejemplo real de un proyecto de reforestación con el fin de analizar las ventajas, las desventajas y las diferencias cuantitativas de un método sobre el otro.

Por último, se concluye y se diseña un modelo de valoración que se adapte a diferentes tipos de proyectos de reforestación.

Palabras clave: opciones, reforestación, valoración, incertidumbre, riesgo.

Introducción

El propósito de la investigación es explorar la aplicación de opciones reales a la valoración de proyectos de reforestación. Las opciones reales se aplican por lo común en valoraciones en las que en el corto, el mediano o el largo plazo existen diferentes posibles escenarios a partir del problema que subyace en los métodos tradicionales a través de la valoración por medio de flujos de caja descontados (*discounted cash Flow* o DCF), que se consideran rígidos ante los posibles cambios inesperados que se generen después de haber realizado la valoración.

Según la literatura, la minería fue uno de los primeros sectores en utilizar opciones reales para evaluar proyectos (Bailey, Bhandari, Faiz, Srinivasan y Weeds, 2004), puesto que en este tipo de industrias tiene una alta incertidumbre debido a los

diferentes escenarios que se pueden presentar durante la ejecución de los proyectos. El éxito de las exploraciones y el precio del subyacente en el momento de la venta son factores que cambian en forma radical el valor del proyecto.

La reforestación es otro sector económico en el que pueden ocurrir escenarios que cambian por completo el valor del proyecto. El mercado de productos forestales es el más grande en el mundo después de los del petróleo y el gas (Martínez Covaleta, Salazar Soler y Acevedo Gaitán, 2005), lo que hace que los proyectos de reforestación estén en la mira de inversionistas alrededor del mundo, pero cambios drásticos en las condiciones climáticas, plagas y precio de la madera en el momento de la venta se consideran que son los factores que hacen difícil la valoración por medio de los métodos tradicionales.

La amplia diversidad vegetal de Colombia, la geografía y los climas permiten tener gran variedad y riqueza forestal. La reforestación agrupa una serie de actividades, entre las cuales están: planear, manejar, controlar y supervisar el proceso de siembra de un árbol. Este proceso tiene dos fines comunes: el primero busca mitigar daños ambientales que ha causado el ser humano, mientras que el segundo, que es el objeto de la presente investigación, que busca obtener un beneficio económico por ejercer esta actividad. La decisión para iniciar un proyecto de reforestación debe estar fundamentada en su viabilidad económica y se lleva a cabo por etapas, en las que se debe tener en cuenta una serie de factores, como el punto geográfico y la especie de árbol por sembrar.

Situación en estudio - problema

Los proyectos de reforestación tienen un alto grado de incertidumbre, dependiendo del lugar y del tipo de árbol que se siembre. Factores como los cambios climáticos, el precio de venta de la madera y el control de plagas hacen que el uso de los métodos tradicionales de valoración no sea adecuado para este tipo de proyectos. A partir de lo anterior, se creó el enfoque de opciones reales (*real options approach* o ROA), que complementa la valoración tradicional a través de la flexibilidad en la

toma de decisiones durante la ejecución del proyecto para con ello poder cuantificar y mitigar la incertidumbre en el momento de valorar, tal y como lo refieren Espitia Escuer y Pastor Agustín, que explican un poco la debilidad de los métodos tradicionales:

La principal crítica que se les atribuye a los criterios clásicos es que no consideran la modificación en las decisiones de gestión conforme se resuelven las fuentes de incertidumbre bajo las que se tomaron las decisiones iniciales, y por tanto no se asigna adecuadamente el valor que de tales decisiones se deriva (Espitia Escuer y Pastor Agustín, 2003, p. 2).

En proyectos forestales es necesario complementar el método DCF con el ROA, porque las condiciones en este tipo de proyectos pueden cambiar en tan alto grado en el tiempo que el método DCF no genera un resultado cercano a la realidad y la toma de decisiones se tiene que basar en un complemento de ambos métodos, de modo que se tengan en cuenta los cambios que afecten el valor futuro del proyecto. Con la aplicación de ROA se analiza una serie de eventos futuros, como el del abandonar el proyecto si el precio de la madera no es el esperado, o, por el contrario, expandirlo si las condiciones futuras son mejores que las esperadas. El método ROA genera un valor más ajustado a la realidad, lo que permite tomar decisiones con mayor certeza acerca de lo que pueda ocurrir en el futuro.

Objetivos, general y específicos

Objetivo general:

Aplicar la metodología ROA en la valoración de proyectos de reforestación en Colombia, con el fin de apoyar en la toma de decisiones a los agrónomos y a los interesados en este tipo de negocios.

Objetivos específicos:

- Investigar la situación actual del mercado de reforestación en Colombia y las variables de éxito para la evaluación de un proyecto de inversión de este estilo.
- Construir el proyecto por medio de la metodología DCF mediante la utilización de los métodos flujo de caja de capital descontado con una tasa des apalancada llamada K_u y de flujo de caja libre descontado con “rolling” WACC para estimar el valor presente neto (*net present value* o VPN) estático.
- Utilizar el método ROA para estimar el NPV estratégico con el fin de analizar ventajas y desventajas de las opciones reales.
- Demostrar, por medio de un ejemplo, la utilidad de las opciones reales en proyectos de reforestación.

Marco conceptual

Es importante aclarar las diferencias conceptuales entre los dos métodos de valoración que se van a comparar y las diferencias entre una opción financiera y una real. El método de flujo de caja descontado se basa en proyectar durante un período estipulado el flujo de caja libre con base en crecimientos en ventas, costos, gastos, capex y capital de trabajo neto operativo (KTNO). Por lo general, estas proyecciones consideran un porcentaje de variación constante o múltiplos que permanecen rígidos durante los períodos de proyección. El análisis DCF es estático y “supone que un plan de proyecto está congelado y permanece inalterado y que la dirección es pasiva y se ciñe al plan original, independientemente de que se modifiquen las circunstancias” (Bailey et al., 2004, p. 41).

El método de valoración por medio de ROA tiene en cuenta la toma de decisiones después de haber iniciado el proyecto. Estas opciones se valoran y se suman a la valoración mediante flujo de caja descontado, por lo que el método de valoración por medio de opciones reales no es un remplazo de los métodos tradicionales sino

un complemento (Bailey et al., 2004).

El método ROA nació de la concepción de la teoría de opciones financieras, que se consideran como seguros que los inversionistas toman para garantizar que el cambio en el precio de un activo no los afecte en sentido negativo. Cuando al inversionista le interesa que el precio de un activo baje, simplemente compra una opción o seguro para asegurar la posibilidad de comprar el activo con un precio establecido, sin importar que el precio suba. En el sentido contrario también aplica, puesto que cuando un inversionista tiene expectativas referentes a que el precio de un activo suba, procederá a comprar una opción o seguro para asegurar la posibilidad de vender el activo con un precio establecido, sin importar que el precio baje. Este seguro u opción financiera tiene un costo, lo que le permite ejercer o no el derecho a comprar o vender, según el tipo de opción a la que acceda (Bailey et al., 2004). Por su parte, las opciones reales son un método de valoración que permite cuantificar los diferentes escenarios que pueda tener un proyecto o inversión durante su duración, lo que genera un valor adicional que se cuantifica en el NPV estratégico (Maya Ochoa, Hernández Betancur y Gallego Múnera, 2012).

En relación con la historia del método ROA, en 1930 Irving Fisher, en su libro *Teoría del interés*, introdujo el concepto de opción para un empresario (Clavería Cariñena, s.f.), mientras que Black-Scholes (1973) describió alternativas como opciones reales en un análisis de opciones financieras. Aunque hasta la fecha no se había mencionado la opción real como tal, en ese momento surgió la base para su creación. Unos de los primeros en investigar acerca de opciones reales fueron Schwartz y Brennan (1985), citados por Clavería Cariñena (s.f.).

En la revisión de literatura acerca de la aplicación de ROA en proyectos de reforestación aparecen los trabajos seminales de McConnell et al. (1983), Newman y Yin (1995), Plantinga (1998), Morck et al. (1989) y Reed and Haight (1996), citados por Duku-Kaakyire y Nanang (2004). En dichas fuentes se habla de la utilidad del ROA para analizar proyectos forestales mediante la comparación con el modelo estático de Faustmann, que estudia la edad óptima en la que debe talarse, con las

opciones de retrasar la reforestación, expandir el tamaño de la planta de procesamiento de la madera, abandonar la planta y evaluar las tres opciones combinadas, para concluir que el modelo de Faustmann no es adecuado para tomar la decisión de invertir en un proyecto forestal, mientras que la aplicación de ROA genera valores más acertados para la toma de decisiones en este tipo de proyectos.

En términos generales, en función de la aplicación de ROA al contexto, se hace necesario considerar la capacidad de pausar o retrasar etapas en proyectos en industrias de recursos naturales, mientras que en los de reforestación es obligatorio considerar dar espera a procesos como recolección de cosechas y procesos de fertilización y de eliminación de los árboles más débiles para fortalecer los más fuertes (Duku-Kaakyire y Nanang, 2004). Realizar inversiones por etapas es una opción real aplicada cuando es posible que se abandone el proyecto entre una etapa y la otra (Duku-Kaakyire y Nanang, 2004). En el caso de proyectos de reforestación es viable usar esta opción en el momento en que una plaga afecte un porcentaje alto de los árboles. Las opciones de expandir o reinvertir en el proyecto son imputables en forma directa a proyectos de reforestación, dado que al iniciar plantaciones de árboles existen grandes incógnitas en cuanto a la calidad de la tierra, las tasas de crecimientos de los árboles y su adaptación al clima. También, por otra parte, se debe tener en cuenta que en el momento en que evoluciona el proyecto se pueden obtener mejores resultados de lo esperado y aquí es cuando es viable tomar la opción de reinvertir con el fin de expandir las plantaciones de árboles. Estas son opciones que, dependiendo de la evolución del proyecto, permiten tomar decisiones que afectan de manera drástica su valor. Por el método de flujo descontado no se tienen en cuenta estas posibles decisiones en el momento de valorar.

Los métodos utilizados por lo común para valorar opciones son los reticulados binomiales y la fórmula de Black-Scholes (Bailey et al., 2004), aunque se basa en la creación de una cartera que replique el comportamiento de la opción. De acuerdo con este método se encuentra, mediante el uso de una formula cerrada, el valor de

la opción. En el método de árboles binomiales multiplicativos se evalúan los nodos que emulan el comportamiento del activo subyacente expresado en dos posibles escenarios con su respectiva probabilidad de éxito (Ahmad Dar y Anuradha, 2018). En cada período se repiten los dos posibles escenarios con el propósito de ampliar así un árbol de posibilidades que se expande a medida que pasa el tiempo. Al terminar el número de períodos de la duración de la opción se analizan variables para hacer un cálculo del valor de la opción. Vale la pena mencionar que este último método es el más utilizado en ROA, porque permite tomar la mejor decisión de acuerdo con el valor máximo del nodo y también porque es común encontrar que la gran mayoría de las opciones reales son de tipo americano y no europeo.

Método de solución

Para mostrar la viabilidad de los métodos de valoración para proyectos de reforestación por medio de opciones reales se comparó la valoración de dos métodos tradicionales de flujo de caja descontado (DCF) con uno de opciones reales, como lo es el método de reticulados binomiales o árboles binomiales. Como método de solución se usó el método numérico por medio de árboles binomiales multiplicativos, en el que se estima el valor presente neto estático con el método DCF y con él se estima el valor presente neto estratégico.

Caso de aplicación

Colombia, por ser un país con características ideales y tener zonas no protegidas especiales para reforestar, como lo son la costa del Caribe (serranías de Piojo y de San Jacinto en el occidente), el suroeste antioqueño y el norte del altiplano cundiboyacense, con inclusión de Santander (Sanchez-Cuervo y Aide, 2013), es apto para sembrar algunos tipos de árboles y palmas como la teca y la palma de aceite y los proyectos enfocados hacia dicha actividad cada vez son más demandados.

Se decidió para el caso de aplicación no solo valorar el proyecto mediante el método tradicional DCF, sino estimar el valor de la opción real de abandono que subyace;

con el fin de conseguir lo anterior se planteó el proyecto de reforestación en la finca La Montaña, en la que los árboles sembrados son los pinos pátula y Ellioti.

El proyecto finca La Montaña está basado en un caso real de un lote de tierra ubicado en Guarne, Antioquia, con un área de 12,7 cuadras, lo que equivale a alrededor de 81.280 metros cuadrados. Esta extensión de tierra se encuentra reforestada en su totalidad con pinos. El terreno en los inicios se reforestó con 14.000 pinos en el año 2011, las clases de pinos usados fueron 1.000 pinos Ellioti y 13.000 pátula, ambos con una edad de crecimiento maduro y apto para corte a los 14 años. En el año 2017 se hizo una entresaca³, es decir, se limpió el lote con el fin de eliminar los pinos con poco crecimiento y de cortar las ramas inferiores de los que permanecieron, con el fin de mejorar las condiciones en factores como disponibilidad de nutrientes, aire y luz. De esta manera, los pinos más fuertes obtendrían mayor crecimiento y, a su vez, mayor diámetro del tallo. En esta primera entresaca se retiraron 2.000 pinos. Para este tipo de sembrados se necesitan dos entresacas. La segunda, que se hará con el mismo fin de la primera, se debe hacer en el año 2021. El resultado será un sembrado con alrededor de 10.000 pinos aptos para la venta cuando logren su madurez, que se proyecta para el 2026. La madera extraída de las entresacas tiene su mercado y lo usual es que el costo de extraer la madera sea igual a la facturación que genera la madera que se vende. En el año 2019 se presentó la oportunidad de comprar la tierra y el sembrado de pinos por un valor de seiscientos millones de pesos, suma que incluyó la propiedad de la tierra con 12.000 pinos con siete años de crecimiento.

Para evaluar si era viable dicha oportunidad, se procedió a valorar el proyecto por medio de tres métodos. El primero fue la valoración por medio del flujo de caja de capital descontado con una tasa des apalancada llamada Ku. El segundo fue mediante el flujo de caja libre descontado a con un “rolling” WACC, es decir, con una tasa ponderada del costo de capital ajustada con la estructura de capital del

³ Tala selectiva de árboles de un bosque con el propósito de dar mayor espacio físico para el desarrollo de los árboles que quedan en pie.

proyecto para cada año. Por último, se valoró el proyecto por medio de la opción real de abandono.

Para analizar la viabilidad se procedió a calcular un estado de resultados de la finca La Montaña, en el que se proyectaron los ingresos, los costos y la estructura de capital mediante la explicación acerca de cómo se financiará el proyecto con el fin de generar diferentes flujos de caja.

Se proyectó para siete años, al tener en cuenta que los pinos llegarán a su edad de corte máxima en dicho período. Se tomó 2019 como el inicio del proceso y se llevó hasta 2026, año en que se terminará el proyecto con la tala de los pinos y su venta como madera.

Se tomó la decisión de invertir en el proyecto al considerar una estructura de capital con un 33% de la inversión inicial financiada y un 67% con patrimonio de los inversionistas. La financiación será de 200 millones, mediante préstamo con un banco local con una tasa del 14,03% efectivo anual y se amortizará el crédito durante 84 meses, es decir, los mismos siete períodos que dura el proyecto. Las cuotas se pagarán cada mes vencido.

Las condiciones de venta del proyecto se pactaron desde el inicio de la siguiente manera. Se realizará la segunda y última entresaca en el año 2021 y se presupuestó vender lo producido de la segunda entresaca en el mismo año que se realice. En esta entresaca se proyectó que se retiren 2.000 pinos. El costo de la entresaca y el valor de la venta será el mismo, por lo que no se obtendrán ni utilidades ni pérdidas en dicho período. De esta forma se igualará el costo de realizarla con las ventas generadas, lo que dará como resultado del ejercicio cero ganancias o pérdidas. En los años anteriores, es decir, 2019 y 2020, y los años posteriores hasta 2025, por ser años sin ingresos ni egresos, los resultados serán los mismos que en 2021. Se evidenciaron movimientos importantes en el año 2026, que es el último del proyecto, en el que se planeó vender los pinos completamente desarrollados y aptos para tala.

En el año 2026 se debe culminar el proyecto y se venderá la madera de los 10.000 pinos sembrados. La proyección del ingreso para este año se obtuvo del análisis de

unidad de venta de la madera llamada rastra y se concluyó que será de 2,5 rastras por pino y el valor de la rastra proyectado para el 2026 será de \$49.645. Estos valores se multiplican con la cantidad de pinos y el producto de esta operación es el ingreso del año 2026: \$1.241.133.535.

El costo de venta resultó del mismo cálculo del valor de las 2,5 rastras por pino multiplicado por los 10.000 pinos, que se multiplicó por el costo proyectado para cada rastra, que será para 2026 la suma de \$24.823. Este valor se calculó con el costo actual de cada rastra proyectado con la inflación extraída de proyecciones del Grupo Bancolombia (2019). El resultado del costo de venta para 2026 fue de \$620.566.767.

Al tener unas ventas por \$1.241.133.535 y unos costos de venta por \$620.566.767, la utilidad operativa generada será de \$620.767.000. Después de deducir el 30% por concepto de impuestos, la utilidad del ejercicio será de \$434.396.737. A partir de esta información se empezó a generar diferentes flujos de caja, como lo son el de la operación, el de inversión, el libre, el de la deuda, el de la financiación, el del inversionista y el de capital.

Con la información anterior se procedió a valorar el proyecto de la finca La Montaña por el método de flujo de caja de capital. En la etapa inicial se halló una tasa de costo de capital des apalancada llamada K_u (*unleveraged cost of capital*), con la que se descontaron los flujos. El proceso para hallar esta tasa empezó con un beta apalancado (*leveraged beta*) del sector de agricultura, extraído de Damodaran (2018), luego se procedió a des apalancar este beta, al tener en cuenta la estructura de capital del proyecto, que es de un 66,7% de patrimonio con un 33,3% de deuda, mediante el método propuesto por Damodaran (2018), que supone que la beta de la deuda (*debt beta*) tiende a cero; para el cálculo se utilizó la fórmula siguiente:

$$\beta_u = \beta_l / \left(1 + \left(\frac{\text{deuda}}{\text{patrimonio}} \right) \right)$$

Después se halló un Ku nominal en dólares y para ello fue necesario emplear la tasa libre de riesgo. En este caso se definió el valor de 2,39%, tomada de los bonos del Tesoro de (*Treasury bonds*) de Estados Unidos de diez años (Yahoo!Finance, 2019) y una prima de riesgo de mercado 4,99% hallada en los datos de Damodaran (2018). Ambos se multiplicaron por el beta des apalancado (β_u).

$$Ku \text{ nominal en USD} = R_f + (ERP * \beta_u)$$

Para pasar este Ku nominal en dólares a un Ku nominal en pesos se debe tener en cuenta una serie de variables, como la inflación proyectada de Estados Unidos en 2019, la inflación proyectada de Colombia en 2019 y la devaluación implícita. Después de encontrar este valor se procedió a hallar el Ku real en pesos para 2019, que se dividió por la inflación proyectada de cada año para obtener el factor de descuento desde 2019 hasta 2026 con las siguientes fórmulas:

$$Ku \text{ real en pesos} = \frac{1 + Ku \text{ nominal en COP 2019}}{1 + \text{inflación de Colombia en 2019}} - 1$$

$$Ku \text{ nominal con inflacion de cada año} = (1 + Ku \text{ real}) * (1 + \text{inflación}) - 1$$

Con este Ku nominal ajustado con la inflación proyectada de cada año se procedió a descontar los flujos de caja de capital de cada año sin valor terminal. En el año 2026 se usó el valor terminal, que para el proyecto se estimó como el valor esperado de la venta de la tierra en dicho año, después de descontado el impuesto generado por la utilidad. Esta utilidad es la diferencia entre el valor de la tierra en 2026 y el valor inicial del proyecto. Con este método se obtuvo el valor presente de las operaciones de \$1.143.694.179 y el valor presente neto de las operaciones de \$542.038.179.

Tabla 1. Flujo de caja de la inversión

| | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------|--------------|-------------|-----|-----|-----|---------------|-----------------|
| Flujo de caja de la inversión | | | | | | | | |
| Inversión inicial | -\$600.000.000 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 |
| Capital de trabajo marginal | -\$1.656.000 | -\$1.600.632 | \$1.600.632 | \$0 | \$0 | \$0 | -\$37.234.006 | \$38.890.006 |
| Liquidación de activos | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$1.592.310.672 |
| Flujo de caja de la inversión | -\$601.656.000 | -\$1.600.632 | \$1.600.632 | \$0 | \$0 | \$0 | -\$37.234.006 | \$1.631.200.678 |

Tabla 2. Valoración por flujo de caja de capital con el Ku

| | | | | | | | | |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Primera forma de valoración | | | | | | | | |
| Flujo de caja de capital con el Ku | | | | | | | | |
| Flujo de caja de capital | -\$601.656.000 | \$5.989.387 | \$8.406.927 | \$5.912.626 | \$4.893.586 | \$3.731.590 | -\$34.827.424 | \$2.066.493.108 |
| Flujo de caja de capital sin valor terminal | -\$601.656.000 | \$5.989.387 | \$8.406.927 | \$5.912.626 | \$4.893.586 | \$3.731.590 | -\$34.827.424 | \$474.182.436 |
| Valor terminal | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$1.592.310.672 |
| Ku nominal en pesos con inflación | 9,2% | 9,0% | 9,0% | 8,9% | 8,8% | 8,8% | 8,8% | 8,8% |
| Valor presente de las operaciones | \$1.143.694.179 | \$1.240.379.888 | \$1.343.982.923 | \$1.457.165.160 | \$1.580.011.029 | \$1.714.787.930 | \$1.899.938.792 | \$1.592.310.672 |
| Valor presente neto de las operaciones | \$542.038.179 | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

El segundo método que se presenta corresponde al flujo de caja libre, que se descontó con un WACC ajustado de cada período, es decir, con una tasa ponderada del costo de capital ajustada con la estructura de capital del proyecto para cada año. Para este método se tomó el flujo de caja libre (FCL) sin el valor terminal y para hallar el valor presente de las operaciones se debió descontar dicho FCL con un WACC que cambió en cada período de la siguiente manera: con el fin de tener un “rolling” WACC se debió hallar cada uno de los elementos que lo componen, que son:

- Costo de la deuda con beneficio tributario

$$Kd \text{ con beneficio tributario} = Kd(1 - \text{tasa impositiva})$$

- Porcentaje de deuda

$$\%D = \frac{\text{Saldo de la deuda en } T - 1}{\text{Valor de las operaciones en } T - 1}$$

- Porcentaje del patrimonio

$$\%P = (1 - \%D)$$

- Costo del patrimonio a partir del K_u

$$K_{e \text{ en } T} = K_{u \text{ en } T} + (K_{u \text{ en } T} - K_{d \text{ en } T})\left(\frac{D}{P}\right)$$

Más tarde se tomó el costo de la deuda (K_d) hallado en cada período de la vigencia del crédito que se usó para el proyecto, que se obtuvo al dividir los intereses del período sobre el saldo de la deuda del período anterior.

Tabla 3. Costo de la deuda

| | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|----|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Kd | | 12,65% | 12,51% | 12,31% | 12,00% | 11,48% | 10,44% | 7,29% |

Fuente: elaboración propia

Después de encontrar la tasa K_d se restó el beneficio tributario generado por incurrir en el crédito, lo que generó la tasa K_d con beneficio tributario. Para continuar con el proceso se estimó el valor presente de las operaciones y se empezó desde el último periodo proyectado hasta el período inicial, es decir, desde 2026 hasta 2019. En el último período (2026) para el valor presente de las operaciones se tomó el valor terminal del proyecto (\$ 1.592.310.672). A partir de dicho período se formularon los anteriores, es decir, 2025, 2024, etc., hasta 2019, de la siguiente manera:

*Valor presente
de
las operaciones* $_{t-1}$

$$= \frac{(FCL_t \text{ sin valor terminal} + \text{valor presente de las operaciones}_t)}{(1 + WACC_t)}$$

Después de tener todos los elementos se procedió a calcular el WACC en cada período y se empezó desde 2026 hasta llegar a 2020 de la siguiente manera:

$$WACC = K_d(1 - T) * \%D * K_e * \%P$$

Una vez hallado el WACC real en cada período se encontró el valor presente de las operaciones en el año 2019: \$ 1.143.694.179, y el valor presente neto de las operaciones de \$542.038.179.

Tabla 4. Valoración por flujo de caja libre con WACC

| Segunda forma de valoración | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Método FCL con WACC | | | | | | | | |
| Flujo de caja libre | -\$601.656.000 | -\$1.600.632 | \$1.600.632 | \$0 | \$0 | \$0 | -\$37.234.006 | \$2.065.597.415 |
| Flujo de caja libres si valor terminal | -\$601.656.000 | -\$1.600.632 | \$1.600.632 | \$0 | \$0 | \$0 | -\$37.234.006 | \$473.286.743 |
| Valor terminal | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$0 | \$1.592.310.672 |
| Valor presente de las operaciones | \$1.143.694.179 | \$1.240.379.888 | \$1.343.982.923 | \$1.457.165.160 | \$1.580.011.029 | \$1.714.787.930 | \$1.899.938.792 | \$1.592.310.672 |
| WACC | | 8,31% | 8,48% | 8,42% | 8,43% | 8,53% | 8,63% | 8,72% |
| Kd(1-T) | | 8,86% | 8,76% | 8,61% | 8,40% | 8,04% | 7,31% | 5,11% |
| Porcentaje de deuda = saldo de la deuda en T-1/valor de las operaciones en T-1 | | 17,49% | 14,62% | 11,92% | 9,33% | 6,86% | 4,48% | 2,15% |
| Ke t = Ku t + (Ku t - Kd t)(D/P) | | 8,20% | 8,43% | 8,40% | 8,43% | 8,57% | 8,69% | 8,80% |
| Porcentaje de Patrimonio | | 82,51% | 85,38% | 88,08% | 90,67% | 93,14% | 95,52% | 97,85% |
| Valor presente neto de las operaciones | \$542.038.179 | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia

Método binomial

Después de haber valorado el proyecto por los métodos tradicionales de flujo de caja descontados y obtener un VPN positivo de \$542 millones se procedió a usar el método de valoración por opciones reales mediante la utilización de árboles binomiales. Lo anterior se sustenta debido a que el valor de VPN estático de \$542 millones no tiene en cuenta futuras opciones o contingencias que se podrían tener a medida que avanza el proyecto. En tal sentido, una opción por contemplar corresponde a una valorización importante en la tierra, lo que puede generar un escenario en el que el resultado financiero de la venta de la madera sea inferior al resultado del mismo tipo de vender la tierra (con abandono del proyecto de reforestación). Debido a esto es importante analizar el método de valoración por medio de opciones reales en el que se le dé prioridad a la opción de abandono.

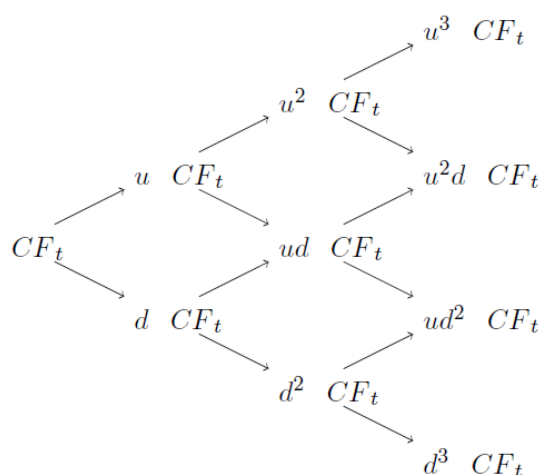
El método binomial consiste en analizar los diferentes períodos del proyecto incrementado y reducir el activo subyacente, que corresponde a los flujos de caja de proyecto, valor que se resume en el criterio financiero del VPN; con base en lo anterior se estiman las probabilidades y, a su vez, se analiza para cada período la

decisión de tomar la opción o de continuar con el proyecto original. Para aplicar el método binomial se parte del resultado de VPN del método tradicional, que corresponde a un valor estático que proviene de los flujos de caja descontados.

En términos generales, el valor del VPN para un proyecto se estima como valor presente de los flujos proyectados menos la inversión inicial. Es decir que, para la investigación actual, con el método tradicional de valoración se obtuvo un valor presente del proyecto de \$1.143.694.179 menos un dinero invertido de \$601.656.000, que corresponde a la inversión inicial; de esta forma se calculó el valor del VPN, que fue de \$542.038.179.

A manera de resumen, se puede indicar que el método binomial se construye mediante la creación de escenarios negativos y positivos para el VPN en cada cambio de período, que se van recombinando, lo que permite construir una malla, la que más tarde se evaluará para derivar el respectivo valor de la opción. La forma estructural del método de valoración por opciones se presenta en la figura 1.

Figura 1. Diagrama binomial con ecuaciones



Fuente: Galvis y Galindo (2015)

Por su parte, una vez construido el árbol del activo subyacente se procedió también a estimar las probabilidades neutrales, que corresponden las que se erigen en un mundo neutral frente al riesgo. Las probabilidades siguen un modelo binomial, es decir existe la probabilidad p para un nodo con escenario bueno y la probabilidad complementaria, $1-p$, que le corresponde un nodo con un escenario malo. Vale la pena mencionar que estas probabilidades de transición se calcularon con base en la desviación estándar de los valores de las empresas dedicadas a la agricultura en países emergentes (Damodaran, 2018), de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{up} &= e^{DE*\sqrt{dT}} \\ \text{down} &= e^{-DE*\sqrt{dT}} \\ p &= e^{Rf*dT} - \frac{\text{down}}{\text{up} - \text{down}} \end{aligned}$$

Donde:

DE: desviación estándar de valores de empresas dedicadas a la agricultura.

dT: diferencial de tiempo

Rf: tasa libre de riesgo.

Se le aclara al lector que para la presente investigación se utilizó la información de la página web de Damodaran (2018), en la sección de desviaciones estándar de los valores de empresas dedicadas a la agricultura en países emergentes, con un valor de 24,22% anual. Para el diferencial de tiempo se definió que cada cambio de nodo representaba un año; por lo tanto, se definió el valor de 1 para esta variable. Con respecto a la tasa libre de riesgo, se utilizó una tasa de 2,36% de los bonos de Estados Unidos de diez años obtenida de Yahoo!Finance (2019). Los resultados fueron los siguientes:

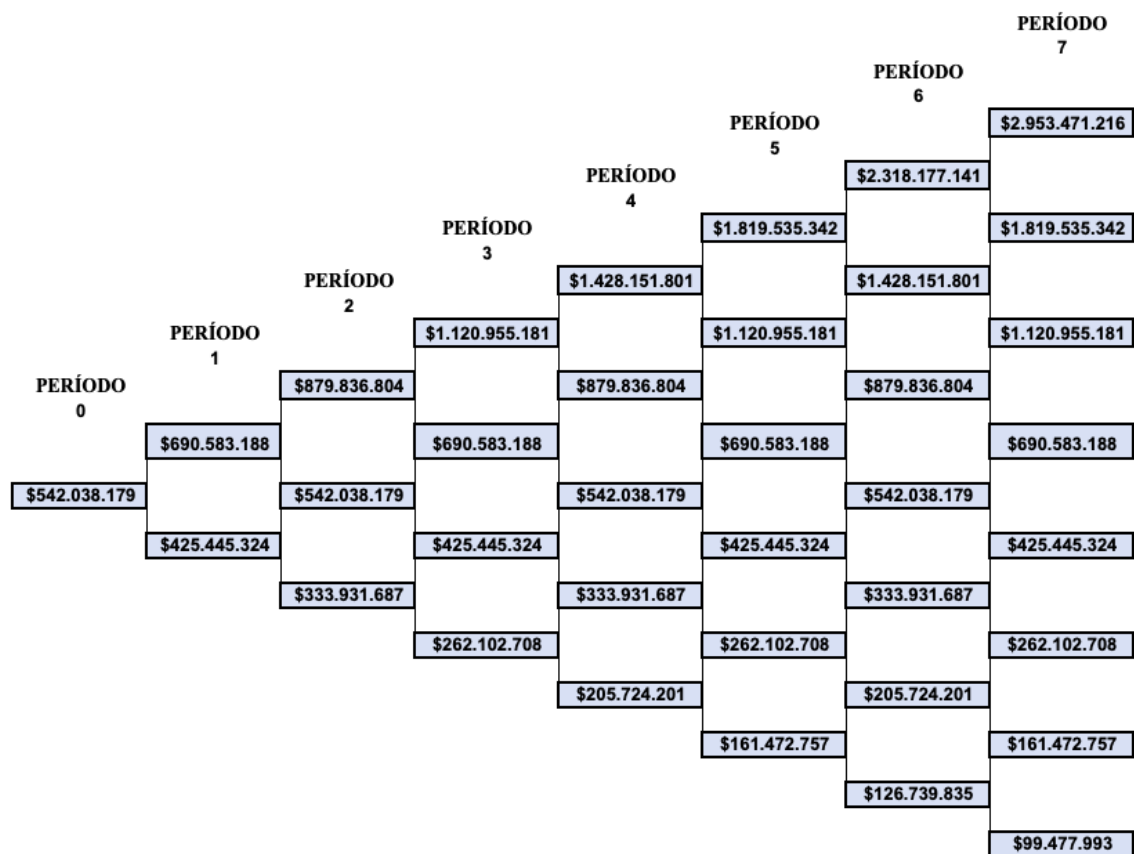
$$\text{up} = e^{24,22\%*\sqrt{1}} = 1,274$$

$$\text{down} = e^{-24,22\% \cdot \sqrt{1}} = 0,7849$$

$$p = e^{2,36\% \cdot 1} - \frac{\text{down}}{\text{up} - \text{down}} = 0,4886$$

En el caso de la finca La Montaña, el árbol del activo subyacente quedó en la siguiente forma:

Figura 2. Árbol de decisión para la finca La Montaña



Fuente: elaboración propia

Con posterioridad se calculó la opción de abandono para determinar en cada nodo si se debía abandonar el proyecto o continuar con él. Esta comparación se hizo entre el VPN de cada nodo y el respectivo valor de abandono. En el proyecto de reforestación en la finca La Montaña se definió el valor de abandono como el valor comercial de la tierra sin tener en cuenta el valor del sembrado. Si se decide abandonar el proyecto, se supone que la tierra se puede vender por el valor comercial de una tierra sin reforestación. Para este caso estudiaron los valores de las tierras en el sector. Se hizo un recorrido por el sector en el que está ubicada la finca La Montaña y se identificaron los siguientes terrenos que estaban para la venta y tenían características similares a la finca en mención:

Tabla 5. Características de los terrenos estudiados

| | LOTE 1 | LOTE 2 |
|--|-------------|-------------|
| ÁREA (m ²) | 7.419 | 11.200 |
| TOPOGRAFÍA | MONTAÑOSA | MONTAÑOSA |
| ALTURA (metros sobre el nivel del mar) | 2.424 | 2.390 |
| VALOR OFERTADO (COP) | 245.000.000 | 300.000.000 |
| VALOR DE CADA METRO CUADRADO (COP) | 23.023 | 26.786 |

Fuente: elaboración propia

Al promediar el costo por metro cuadrado de los dos lotes se encontró un valor de \$24.904/m². Si se tiene en cuenta que la finca La Montaña tiene 81.280 m², un área mucho mayor que la de cada uno de los lotes comparados, y que los terrenos de

mayor metraje tienden a tener un menor costo por metro cuadrado que los de menor metraje, se definió un porcentaje de castigo del 10% y se obtuvo un valor por metro cuadrado de \$22.414. Por último, se estableció que, por ser una opción de abandono, se debe garantizar que la venta del inmueble sea rápida. Para asegurar que el inmueble se venda en un período corto se castigó otro 10% adicional, para redondear la cifra en \$20.000. Para proyectar el valor de la tierra en los siguientes años se incrementó el valor del metro cuadrado con la inflación proyectada, extraída de las proyecciones del Grupo Bancolombia (2019).

Tabla 6. Proyección del valor de la tierra

| AÑO | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
|---|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| INFLACIÓN | 3,4% | 3,2% | 3,3% | 3,1% | 3,0% | 3,0% | 3,0% | 3,0% |
| PRECIO DE CADA m ² DE TIERRA | \$20.000 | \$20.680 | \$21.342 | \$22.035 | \$22.716 | \$23.398 | \$24.100 | \$24.823 |
| VALOR DE LA TIERRA | \$1.625 millones | \$1.680 millones | \$1.734 millones | \$1.791 millones | \$1.846 millones | \$1.901 millones | \$1.958 millones | \$2.017 millones |

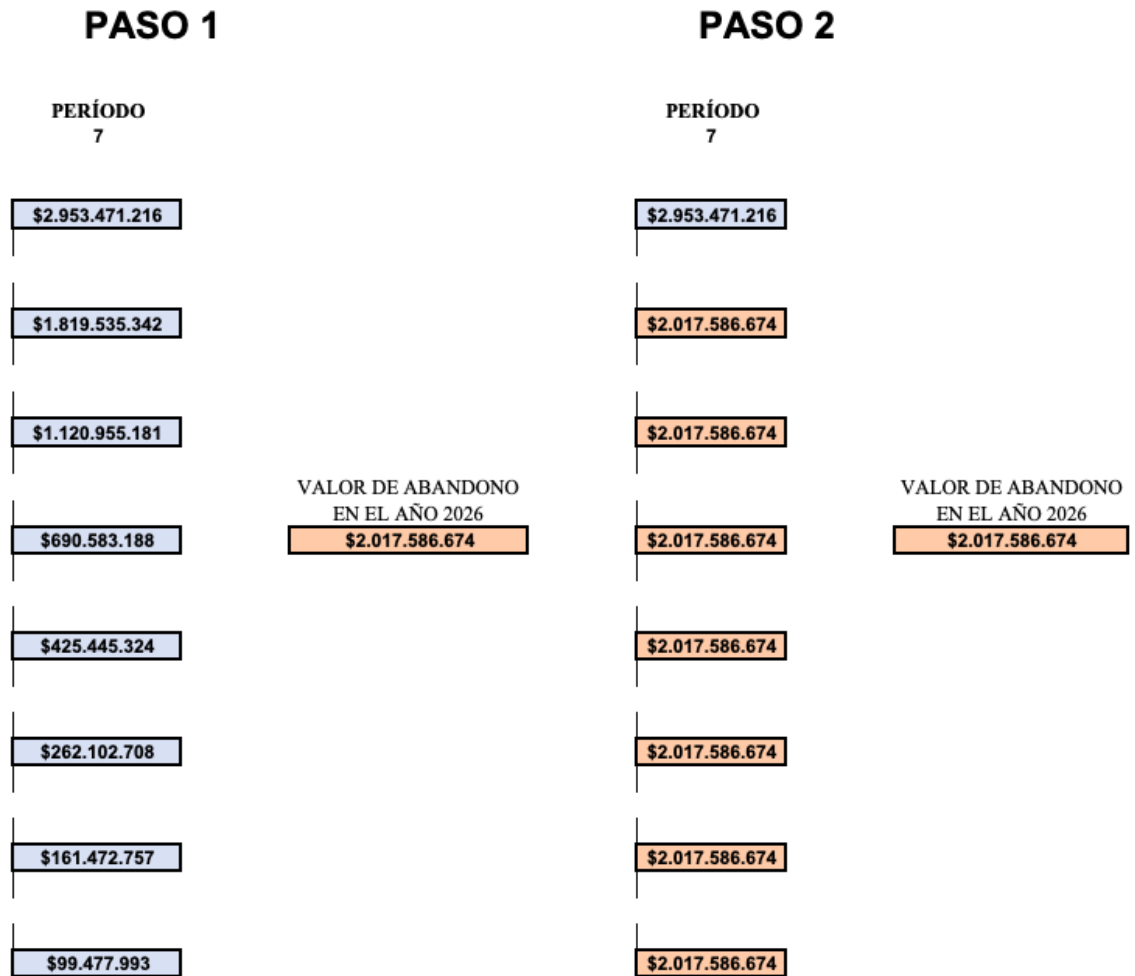
Fuente: elaboración propia

El cálculo del valor total de la tierra año tras año es el valor que se recibiría si se abandona el proyecto; este valor del abandono se comparó con el VPN del mismo nodo para definir si sería mejor abandonar el proyecto o continuar con él. La comparación entre el VPN y el valor de abandono de cada nodo no se puede llevar a cabo con los valores actuales del árbol binomial puesto que las decisiones que se van tomando en los últimos nodos van afectando el VPN de los nodos anteriores. Por lo tanto, se deben analizar en la etapa inicial los nodos del último período (año 2026); en cada nodo se comparan el VPN y el valor de abandono para determinar si se abandona el proyecto o se continúa y en seguida se calcula el efecto que estos cambios generan en el año anterior (2025). Se analizan las decisiones que deben

tomarse en el año 2025, se calcula el efecto de estas decisiones en el año anterior (2024) y así sucesivamente hasta llegar al período cero, que es el año 2019.

Si se analiza el período 7 (año 2026) se observa que, después de aplicar probabilidades de escenarios positivos y negativos, se obtienen ocho posibles escenarios (nodos) en los que el valor de VPN oscila entre \$99,5 y \$2953,5 millones; cada uno de estos nodos se analiza y se determina si es mejor abandonar el proyecto (cuando el valor de abandono es mayor que el VPN del nodo) o continuar con él (cuando el VPN es mayor que el valor de abandono). En los nodos en los que se decida abandonar el proyecto se reemplaza el valor de VPN por el valor de abandono. Este nuevo valor afectará los VPN de períodos anteriores. Por ejemplo, el nodo más optimista del período 7 es el primero de arriba hacia abajo. Este nodo tiene un VPN de \$2.953 millones, que sería el valor de la empresa en el período 7 en un escenario optimista. El valor de abandono (valor de la tierra) para el año 2026 se proyectó con un valor de \$2.017 millones. En este nodo el VPN es mayor que el valor de abandono; por lo tanto, se decidió continuar con el proyecto y no abandonarlo. En el caso contrario, si se ira el nodo más pesimista del año 2026 en el que se tiene un VPN de \$99,5 millones, valor bastante inferior al valor de abandono (valor de la tierra) de \$2.017 millones. En este caso se decidió abandonar el proyecto y el valor del VPN anterior se reemplazó en el árbol binomial por el valor de abandono puesto que esto afectará los nodos de períodos anteriores.

Figura 3. Análisis del árbol para el período 7



Fuente: elaboración propia

Si se usan los nuevos valores de los nodos del año 2026 y las probabilidades optimistas y pesimistas calculadas al inicio se calcula el promedio ponderado que incluye los nodos mencionados, multiplicados por las respectivas probabilidades antes estimadas, y con ello se halla el VPN del período 2025. La ecuación utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$VPN = [VPN_{up} * p + VPN_{down} * (1 - p)] * e^{-R_f * dT}$$

Donde:

VPN: valor presente neto del nodo en el que se desea encontrar el valor

VPN_{up}: valor presente neto de escenario optimista del siguiente período.

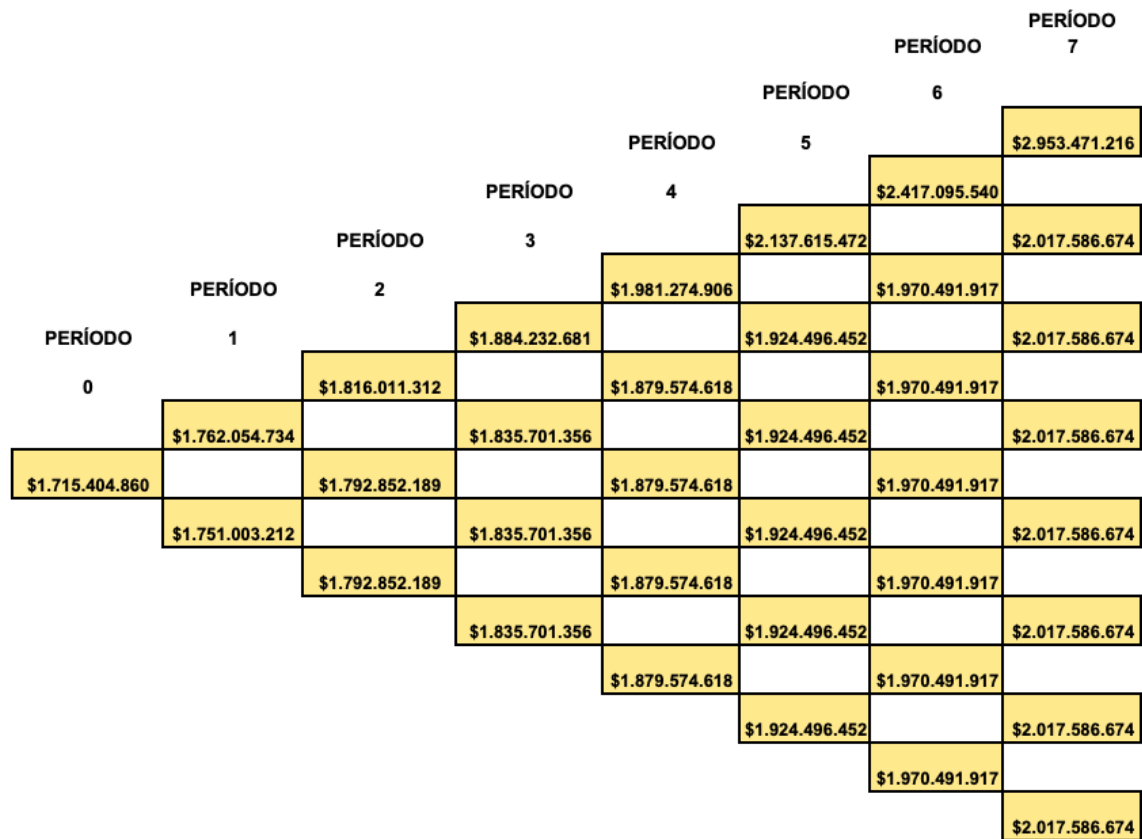
VPN_{down}: valor presente neto de escenario pesimista del siguiente período.

dT: diferencial de tiempo: ¿cuántos períodos representa un cambio de nodo?

R_f: tasa libre de riesgo.

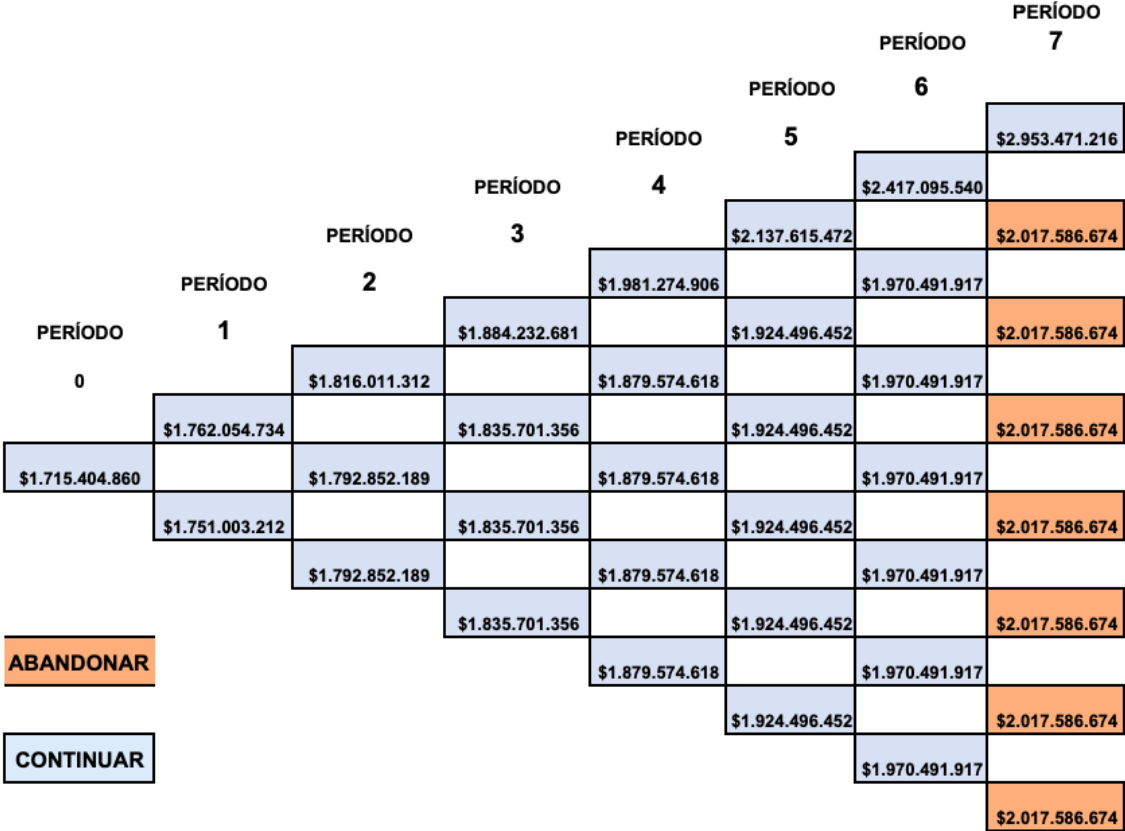
De esta manera se encontraron los VPN del año 2025 y se procedió a hacer la misma comparación con respecto al valor de abandono planteado en el año 2026, pero esta vez con el valor de abandono del mismo período analizado. De igual manera se escogió el mayor valor entre el VPN calculado y el valor de abandono y se decidió entre abandonar el proyecto o continuar con él. En el caso de abandonar el proyecto, el valor de abandono debe remplazar el VPN calculado en el árbol binomial. En la misma forma se analizaron los períodos 5, 4, 3, 2 y 1 hasta terminar con el 100% del árbol binomial. En cada nodo se tomó la decisión de abandonar el proyecto o continuar con él. Al final del análisis se obtuvo el VPN en el período 1, que estuvo afectado por las decisiones tomadas en los períodos posteriores. El árbol binomial de la valoración por opciones reales de la finca La Montaña es el siguiente:

Figura 4. Árbol binomial de la finca La Montaña



Fuente: elaboración propia

Figura 5. Árbol binomial de la finca La Montaña



Fuente: elaboración propia

Al analizar los resultados del árbol binomial se pudo evidenciar que desde el período 1 hasta el 6 fue mayor el valor que genera el proyecto al de ejercer la opción de abandono, pero en el último período, debido a que el valor de la tierra (opción de abandono) es tan alto, la decisión que generó el mejor resultado financiero fue la de abandonar el proyecto de reforestación y recolectar el dinero del valor de la tierra. El árbol binomial arrojó un valor presente neto en el período cero de \$1.715.404.860.

Si se comparan los dos métodos de valoración, el método tradicional entregó un VPN estático de \$542 millones, frente a la valoración por medio de opciones reales, que arrojó un VPN estratégico de \$1.715 millones; por ende, el valor de la opción de abandono fue de \$1.173 millones, que corresponde a la diferencia entre los dos VPN estimados.

Conclusiones

El método de valoración por opciones reales tiene en cuenta la flexibilidad que se puede tener durante la evolución de un proyecto. Factor que omite el método de valoración tradicional por flujo de caja descontado. Los métodos tradicionales asumen que los proyectos resultan como se planean desde el inicio, pero en la vida real existen cambios drásticos que genera mejores resultados financieros como el caso de reforestación en la “Finca la Montaña”. Al utilizar el método DCF se obtuvo un VPN estático de 542 millones de pesos mientras que al utilizar el método ROA se obtuvo un VPN estratégico de 1715 millones de pesos. La valoración por opciones reales da un resultado mayor porque tiene en cuenta la opción de tomar una decisión en el futuro. Al utilizar el método ROA el VPN se incrementa en 1173 millones de pesos, por lo tanto esta diferencia es el valor de la opción de abandono.

En el caso de la “Finca la Montaña” el árbol binomial da como resultado abandonar el proyecto en el periodo 7, de esta manera se obtiene el máximo de valorización por la tierra (opción de abandono) y toda la utilidad generada por la venta de la madera si se continua con el proyecto hasta este periodo. Esta decisión resulta muy lucrativa por lo tanto genera un VPN mucho mayor al método por DCF.

Aplicando ambos métodos de valoración al proyecto de la “Finca la Montaña” se puede concluir que la evaluación por el método tradicional DCF es insuficiente para tomar una decisión. En este caso les permitió a los inversionistas tener diferentes alternativas que no se habían considerado desde el punto de vista tradicional; además les permitió estimar de una manera más adecuada el proyecto objeto de evaluación.

Referencias

- Ahmad Dar, A., y Anuradha, N. (2018). Comparison: binomial model and Black Scholes model. *Quantitative Finance and Economics*, 2(1), 230-245. doi: 10.3934/QFE.2018.1.230
- Bailey, W. C., Bhandari, A. E., Faiz, S., Srinivasan, S. T., & Weeds, H. I. (2004). Valoración de las opciones reales. *Oilfield Review*, Spring, 4-19. Recuperado de <https://docplayer.es/1791699-Oilfield-review-opciones-reales-estimulacion-avanzada-de-yacimientos-carbonatados-disparos-en-condiciones-de-bajo-balance-dinamico.html>
- Clavería Cariñena, T. (s.f.). *El método de valoración por opciones reales. Aplicación en el sector energético*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas. Recuperado de <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/226/TFG000247.pdf>
- Damodaran, A. (2018). *Damodaran online. Implied equity risk premiums update*. Nueva York, NY: New York University, Stern School of Business. Recuperado de <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- Duku-Kaakyire, A., & Nanang, D. M. (2004). Application of real options theory to forestry investment analysis. *Forest Policy and Economics*, 6(6), 539-552. doi: 10.1016/S1389-9341(03)00003-0
- Espitia Escuer, M., y Pastor Agustín, G. (2003, noviembre). *Las opciones reales y su influencia en la valoración de empresas*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Documento de trabajo 2003-01. Recuperado de <https://ideas.repec.org/p/zar/wpaper/dt2003-01.html>
- Galvis, A., y Galindo, E. (2015). El concepto del riesgo de valor y su cuantificación mediante la estructura estocástica de la formación de capital. *Revista Politécnica*, 37(2). Recuperado el 15 de mayo de 2019 de

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/736

Grupo Bancolombia (2019). *Proyecciones económicas de mediano plazo*.

Medellín: Grupo Bancolombia. Recuperado de

<https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/investigaciones-economicas/publicaciones/tablas-macroeconomicos-proyectados>

Martínez Covalada, H. J., Salazar Soler, M., y Acevedo Gaitán, X. (2005). *La cadena forestal y madera en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Observatorio Agrocadenas Colombia, documento de trabajo N° 64.

Recuperado de http://www.elsemillero.net/pdf/cadena_insti.pdf

Maya Ochoa, C., Hernández Betancur, J. D., y Gallego Múnera, Ó. M. (2012). La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales. *Cuadernos de Administración*, 25(44), 193-231.

Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=20523152009>

Sanchez-Cuervo, A. M., & Aide, T. M. (2013). Identifying hotspots of deforestation and reforestation in Colombia (2001-2010): Implications for protected areas. *Ecosphere*, 4(11), 1-21. doi: 10.1890/ES13-00207.1

Yahoo!Finance (2019). *US Treasury bond rates*. Nueva York, NY: Yahoo!Finance. Recuperado el 15 de mayo de 2019 de <https://finance.yahoo.com/bonds>